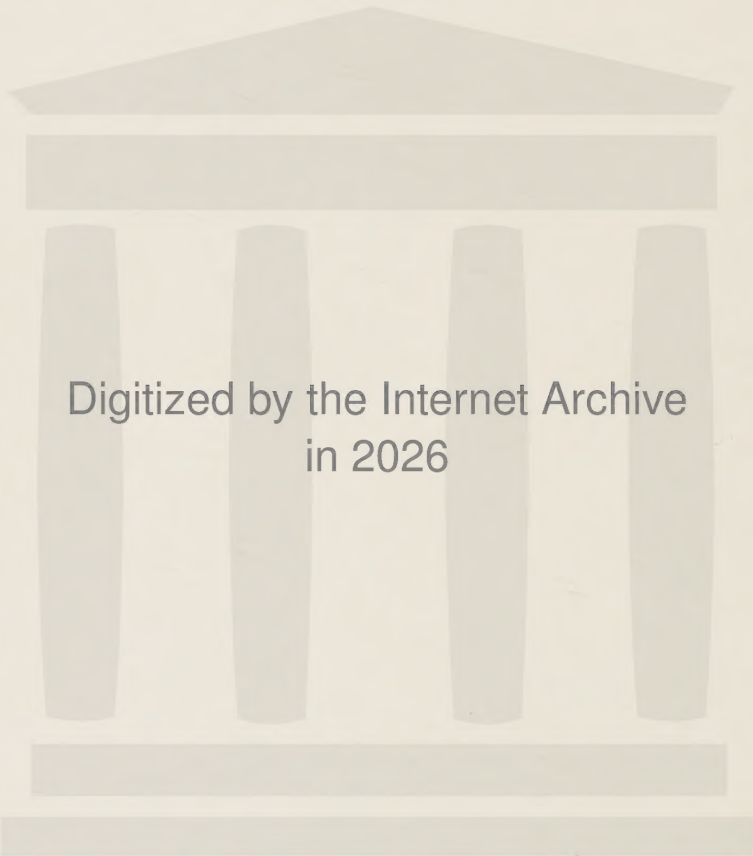


**DER NACHWEIS VON
HAUTBESTANDTEILEN AN ELEKTRODEN
NACH STROMFLUSS**

Marianne Oestreicher

1973



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41554601_0022

Aus dem Institut für Rechtsmedizin der Universität München

Vorsatand: Professor Dr.med.W. Spann

DER NACHWEIS VON

HAUTBESTANDTEILEN AN ELEKTRODEN

NACH STROMFLUSS

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der geamten Medizin
verfaßt und einer Hohen Medizinischen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Marianne Oestreicher
aus
Planegg

München 1973

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität
München

Berichterstatter: Priv.Doz.Dr.med.R.Henn
Mitberichterstatter: Professor Dr.med.W.Spann
Dekan: Professor Dr.med.W.Spann
Tag der mündlichen Prüfung: 17. Juli 1973



DISSERTATIONS— UND FOTODRUCK FRANK oHG
8 München 2, Gabelsbergerstraße 15, Tel. 2 8 0 9 0 9 0

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

Seite

A. Einleitung	1
B. Methode	2
I. Materialgewinnung	2
II. Ablösemethoden an der Elektrode	3
III. Einbettung in Metachrylat	3
IV. Vorbereitung zur rasterelektronen- mikroskopischen Untersuchung	4
C. Beobachtungsgut und Befunde	5
I. Färbungen von Paraffinschnitten	6
1) HE	6
2) Mallory	6
3) Azan	7
4) Masson-Goldner	8
5) Saure MPS	9
6) PAS	10
II. Färbungen von Gefrierschnitten	10
1) Sudan IV	10
2) Sudan III	11
3) Nilblau	12
4) Osmiumteroxyd	13
III. Befunde bei Metachrylatschnitten	15
IV. Rasterelektronenmikroskopische Befunde	17
D. Zusammenfassung der Befunde	21
E. Literaturübersicht	22
I. Physiologisches Fettvorkommen in der Haut	22
II. Die Haut bei Stromfluß	24
III. Korrosion und elektrothermische Schmelzung	26
IV. Funkenbrand	28
V. Bedeutung der Unterscheidung zwischen Gleich- und Wechselstrom	30
VI. Prinzipielle Untersuchungsmöglichkeiten an der Elektrode	33
V. Diskussion der Ergebnisse	35
F. Zusammenfassung	38
G. Literaturverzeichnis	39

A: Einleitung.

Bei Versuchen, experimentell erzeugte Strommarken an der Oberschenkelhaut von gut erhaltenen Leichen zu gewinnen, war nach Stromfluß und Abnahme der Kupferelektroden im Auflichtmikroskop das Auftreten einer glänzenden, durchsichtigen, gallertartigen Masse beobachtet worden. Da im Schrifttum keine Hinweise zu finden waren, sollte die Herkunft und histochemische Zusammensetzung durch lichtmikroskopische Untersuchungen von Schnittpräparaten verschiedener Färbungen abgeklärt werden. Dabei war von der Überlegung ausgegangen worden, daß die Substanz aus Fett besteht, welches aus dem Unterhautfettgewebe durch die Einwirkung des elektrischen Stromes entlang der kollagenen Fasern an die Hautoberfläche gelangt.

Im Laufe der Untersuchungen stellte sich heraus, daß sowohl die Herkunft als auch die Zusammensetzung dieser Substanz mit der gewählten Methode nicht eindeutig zu klären war. Da bei den Versuchen die gallertige Masse zusammen mit Hautteilen auch auf den Elektroden immer wieder haften geblieben waren, wurde der Frage nachgegangen, ob es möglich war, eine Methode zu finden, um das Elektrodenmaterial einzubetten und davon Schnittpräparate anzufertigen.

Zugleich wurden die Elektroden mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskops auf die verschiedenen Wirkungen des Gleich- und Wechselstromes bei den anhaftenden Hautteilen, auf das Vorhandensein von Metallisationen und Korrosionsprodukten untersucht, um eventuell einen weiteren Beitrag zur Diagnose Elektrotrauma in der Forensischen Medizin leisten zu können.

B: Methode.

I. Materialgewinnung und Färbemethoden:

Zur Gewinnung des Schnittmaterials wurden auf Leichenhaut (Oberschenkel) elektrische Verbrennungen gesetzt. Es handelte sich dabei um männliche Verkehrstote im mittleren Lebensalter. Es wurden ca. 50-60 Proben entnommen. Die Entnahme erfolgte bis zu 5 Tage nach Todes-eintritt bei kühl gelagerten, gut erhaltenen Leichen. Als Elektrodenmetall wurden Kupferplatten von ca. 2,25 cm² Größe und 1 mm Dicke benutzt. Der Stromfluß erfolgte im Wechselstrom von 220 Volt. Die Stromflußzeit betrug 2-8 sec. Die stromgeschädigte Haut wurde anschließend mit einem Messer flach aus der Umgebung herausgeschnitten, wobei sorgfältig vermieden wurde, daß sich Unterhautfettgewebe mit ablöste. Die Fixierung der Hautläppchen erfolgte dann in 10 % Formalin 3-4 Tage bei 4° C.

Ein Teil des fixierten Materials wurde in Paraffin eingebettet. Der andere Teil wurde für Gefrierschnitte verwendet. Die 10 μ dicken Paraffinschnitte wurden nach ihrer Entparaffinierung gefärbt:

- 1) mit Hämalun-Eosin (28).
- 2) Bindegewebsfärbung nach Mallory (BURCK S. 104).
- 3) Azanfärbung (ROMEIS S. 368-391).
- 4) Färbung nach Masson-Goldner (BURCK S. 105).
- 5) Saure MPS (ROMEIS S. 278-390).
- 6) PAS-Reaktion nach Mc-Manus (ROMEIS S. 275-277).

Die 30 μ Dicke betragenden Gefrierschnitte wurden gefärbt nach:

- 1) Sudan IV (BURCK S. 120-121).
- 2) Sudan III (BURCK S. 121).
- 3) Nilblau (ROMEIS S. 261-262).

4) Osmiumtetroxyd (ROMEIS S.68-74,260-261).

- a) Frische Gewebstückchen von 1-2 mm Dicke (da sehr langsames Eindringungsvermögen des OsO_4) wurden 36 Std.in 10 % Formalin bei 4°C .fixiert.
- b) 48 Std.Wässern in Leitungswasser.
- c) Schneiden auf dem Gefriermikrotom bei Schnittstärke von 30μ und Auffangen in destilliertem Wasser.
- d) Die Osmierung erfolgt 48 Std.in 0,5 % Lösung von OsO_4 .Diese war anstelle destillierten Wassers mit 0,1 % Chromsäure angesetzt worden.
- e) Wässern ca.1 Std. in Leitungswasser und anschließende Einbettung in Glycerin.

II.Ablösemethoden an der Elektrode:

1) Chemisch mit organischen Lösungsmitteln.

2) Mechanisch:

- a) Eventuell auf der Elektrode noch anhaftende Hautteile lassen sich mit der Pinzette abheben und einbetten.Dies ist jedoch nur bei größeren Stücken möglich.
- b) Es besteht die Möglichkeit des Abschabens mit einer Rasierklinge oder einem Holzspatel und nachfolgende Einbettung der abgelösten Teile.Vorher ist jedoch Fettextraktion durch Tetrahydrofuran nötig.
- c) Durch Einbetten der Elektroden in Uhu Hart,Epoxyharz,Celloidin,Paraffin oder Metachrylat kann nach dem Erhärten die Elektrode abgelöst und die vorher auf ihr festhaftenden Teile können mit dem Ultramikrotom geschnitten werden.

III.Einbettung der Elektroden in Metachrylat:

- 1) Fixierung in 10 % Formalin 12 Std.,dann Einlegen in Schiff'sches Reagens für 24 Std.

- 2) Verbringen für 1-2 Tage in 70 % Alkohol.
- 3) Entwässern dreimal je 1 Std.in Aceton.
- 4) Einbettung in Metachrylat,anschließend 12 Std.
im Wärmeschrank bei 50⁰ C.erhärten lassen.
- 5) Nach 1 Tag Raumtemperatur konnte die Elektrode
von dem erhärteten Metachrylat abgenommen werden.
Das vorher auf ihr anhaftende Material konnte nun
mit dem Ultramikrotom geschnitten werden.
Die Schnittstärke betrug 3 μ .
- 6) Herauslösen des Metachrylats aus den Schnitten durch
96 % Alkohol,anschließend Aufziehen der Schnitte auf
Eiweißobjektträger und Trocknenlassen bei 37⁰ C.
- 7) Die Färbungen erfolgten nach Giemsa (14) und PAS-
Reaktion (28),anschließend Eindecken in Balsam.

IV.Vorbehandlung zur Rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung:

- 1) Einlegen der Elektroden in Tetrahydrofuran für ca.
12 Std.,es wurden auch unbehandelte Elektroden unter-
sucht.
- 2) Nach Trocknung der Elektroden wurden sie auf die als
Objektträger dienenden Aluminiumtellerchen von 1 cm
Durchmesser mittels Uhu Hart aufgeklebt.
- 3) Bedampfung im Vakuum,zuerst mit Kohlenstoff und
anschließend mit einer Goldschicht.
- 4) Erneute Befestigung mit Leitsilber.

C: Beobachtungsgut.

Bei den betroffenen Hautstücken war nach der Einwirkung des elektrischen Stromes makroskopisch und lupenoptisch die Oberhaut unter der Elektrode eingesunken, an den Ecken waren die Reste aufgeplatzter Blasen sichtbar. Diese Reste waren zum Teil an den Elektroden hängengeblieben und zeigten ein vertrocknetes, papierenes, grau-schwärzliches Aussehen.

Auf der Elektroden-auflagenfläche der Haut waren grünliche, grau-schwarze Auflagerungen von unregelmäßiger, fleckförmiger, gezackter Ausdehnung, welche mit ebensolchen Erscheinungen auf der Elektrode korrespondierten. Zugleich konnte man auf der Haut und zum Teil auf den Metallflächen der Kupferelektroden eine glänzende, das Licht reflektierende, klebrige Gallerte von punkt- bis fleckförmiger Ausbreitung bemerken, welche manchmal auch mit den schwärzlich-grauen Belägen zusammenfloß und schwer zu trennen war. Besonders auffallend konnte dies in Flasennähe beobachtet werden.

Die nach den beschriebenen Färbemethoden angefertigten Schnittpräparate der postmortalen Strommarken wurden auf die Möglichkeit hin untersucht, ob sich durch eine eventuelle Anfärbbarkeit der fraglichen, oben beschriebenen Substanz, ihre Zusammensetzung und Herkunft histochemisch zu klären möglich war.

Auf allen Schnitten fanden sich die für die mikroskopisch untersuchten Strommarken typischen Veränderungen in der Histologie mit Epidermis- und Coriumveränderungen, sowie verquollene, zum Teil strukturlose Bindegewebsfasern, welche manchmal auch verbreitert waren und wabige Hohlraumbildungen zwischen Horn- und Keimschicht. Oft war die Hornhaut abgehoben und aufgeplatzt, die Keimschicht stark verschmälert.

I. Paraffinschnitte:

1) HE-Färbung: Hier zeigt sich eine dunkelrote Färbung der Hornschicht. Eine ebenso intensive Anfärbung bietet die Keimschicht mit ihren palisadenförmig aufgestellten Zellen und Zellkernen.

Im Bindegewebe sind einzelne Stellen, welche sich streifenförmig stärker purpurrot anfärben lassen. Oberhalb der Hornhaut ergeben sich keine Hinweise auf eine Reaktion einer dort befindlichen Substanz.

2) Färbung nach Mallory: Kollagenes und reticuläres Bindegewebe werden dunkelblau, Zellkerne rot, Chromatin gelb bis bräunlich, Schleim blau, Muskulatur violett bis orangerot, Neuroglia und Ganglienzellen rotviolett (14, 28). In unseren Präparaten (Abb. 1) ist die meist abgelöste Hornschicht und die Keimschicht im Bereich der Strommarken auffallend tiefblau gefärbt, mit scharfer Abgrenzung zur Umgebung. Von der Strommarke entferntere Bezirke zeigen in Horn- und Keimschichtdarstellung eine braune bis orangerote Färbung. Hervorzuheben ist in diesem Bereich eine streifige, hellblaue Zone im oberen Coriumabschnitt. In den tiefergehenden Schichten kommen dann orange mit blau durchsetzte, strichförmige Züge besser in den Vordergrund. Diese reichen an einigen Stellen auch noch weiter in die Lederhaut hinab. In der Tiefe herrschen orangefarbene Faserzüge vor, welche von vielen blauen, wie abgerissene Fasern aussehende, Teilchen umgeben sind. Nach unseren Beobachtungen dürfte die in dieser Färbung hervorgetretene, abgegrenzte, tiefblaue Anfärbung der Strommarke eine Konzentrierung von Mucopolysacchariden an dieser Stelle bedeuten.



Abb.1:
Hautschnitt einer elektr.
Verletzung.
Färbung nach Mallory.
Vergrößerung 40 : 1.
Beschreibg.s.Text.

3) Azanfärbung: Diese Färbung färbt bei normalem Gewebe reticuläres und kollagenes Bindegewebe außerordentlich scharf blau; Kerne werden rot, Schleim blau, Muskulatur violett (14,28).

Bei den elektrisch geschädigten Hautstellen findet sich im Schnittpräparat (Abb.2) eine blaue, typische perinukleäre Vakuolen aufzeigende Keimschicht, die sich mit der roten Hornschicht vom Corium abhebt. Eine Blaufärbung, welche auf Beteiligung von Schleim und damit auf Mucopolysaccharide hindeutet, findet sich bevorzugt an den Strommarken, in Haarbalg- und Drüsennähe.

Eine blaugefärbte Substanz sieht man auch über der

Hornschicht an vereinzelt Stellen liegen. Rote Faserzüge in blauer Umgebung sind in der Lederhaut erkennbar.

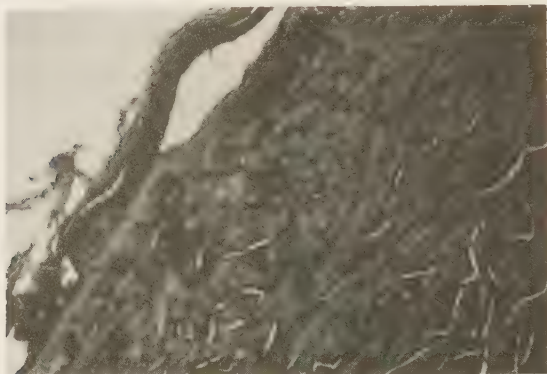


Abb. 2:

Hautschnitt einer Stromverletzung.

Azanfärbung.

Vergößerung 25 : 1.

Beschreibg.s.Text.

4) Masson-Goldner: Im normalen Gewebe färbt Masson-Goldner Cytoplasma und Fibrin rot. Die Kerne sind bräunlich schwarz, Bindegewebe und Schleim grün (28). In unseren Schnitten (Abb. 3) zeigt sich eine purpur gefärbte Hornschicht, die Keimschicht ist bräunlich rot, der obere Coriumteil grün. Im Strommarkenbereich stellt sich die Hornschicht grün dar, auch liegt in diesem Bereich über ihr ein zarter, grünlicher Belag.

Grün färben sich auch die Drüsenzellen. Entlang der Bindegewebsfasern ziehen sich grüne Streifen in die Tiefe hinab.

Unterhalb der Keimschicht sind hier diffuse Metallisationen zu sehen.

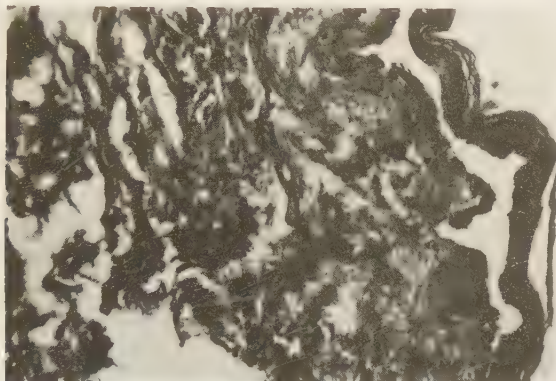


Abb. 3:

Hautschnitt einer Stromverletzung.

Färbung nach Masson-Goldner.

Vergrößerung 25 : 1.

Beschreibg.s.Text.

5) Saure Mucopolysaccharide:

Außer den sauren Mucopolysaccharide wird auch kollagenes Bindegewebe blau angefärbt. Schleim- und Becherzellen sind leuchtend grün-blau. Reife kollagene Fasern sind gelb-rot. Gallertiges Bindegewebe färbt sich grünlich-blau bis gelblich-rot (14, 28).

In unseren Präparaten stellte sich das ganze Schnittbild

rötlich-lila mit schwärzlichen Zellstrukturen dar. Die Hornschicht ist braun-schwarz, die Keimschicht braun-rot. Im Corium sind die kollagenen Fasern purpur und intensiver angefärbt, ebenso die Drüsen und Haarbälge. Insgesamt findet sich aber keine blau oder grün angefärbte Substanz, welche das Vorhandensein von Schleim und sauren Mucopolysacchariden bedeuten würde.

6) PAS-Reaktion: Bei der Periodic-acid-Schiff'schen Reaktion werden durch wäßrige Lösung von Perjodsäure bestimmte, besonders in Polysacchariden vorkommende Atomgruppen aufgespalten und zu Aldehyden oxydiert, diese reagieren mit Leukofuscin und werden somit nachweisbar (28). Kohlenhydrate stellen sich purpur, Kerne blau, Proteine gelb und Cytoplasma ebenfalls gelb dar (14). Eine stark perjodasereaktive Reaktion zeigt sich am subepidermalen Grenzstreifen. Streifenförmige PAS-Reaktionen schreiten auch verstärkt in die Tiefe fort, besonders dort, wo die Zellausziehungen weniger ausgeprägt, sondern die Zellen von Blasen durchsetzt sind. Ebenso färbt sich die Umgebung der Drüsenzellen und der Haarbälge stärker an. Auf der Hornschicht zeigt sich keine Reaktion.

II. Gefrierschnitte:

1) Sudan IV (Abb. 4) : Hierbei färben sich Kerne, Knorpelsubstanz blau, Cytoplasma schwach blau, Neutralfette rot, Lipide blaßrosa (28).

In unseren Schnitten war sehr auffällig (Abb. 4) die über das ganze Präparat sich hinziehende feintropfige Fett-

verteilung, wobei es sich sicher um sekundär entstandene Fettröpfchen handelt, die sich auf die Schnittfläche aufgelagert haben und durch Auspressen der Drüsen beim Schneiden artefiziell entstanden sein könnten. Dennoch sieht man vor allem im kollagenen Bindegewebe ausgesprochene Fettstraßen, die leuchtend orange gefärbt sind und das Präparat in allen Richtungen durchziehen. Die Hornschicht stellt sich in an Intensität wechselnden Orangetönen dar von braun über orange bis gelb. Einige Stellen im Corium sind lila gefärbt, wo eben noch normal reagierendes Bindegewebe vorhanden ist.

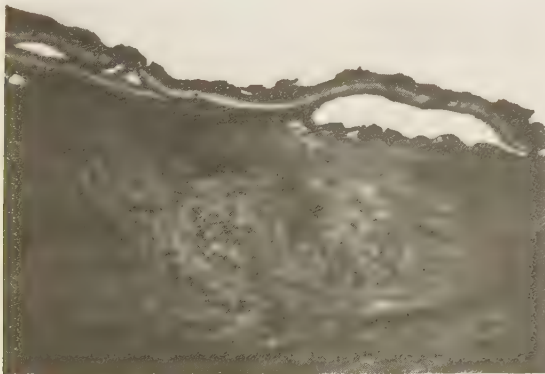


Abb. 4:

Gefrierhautschnitt, Färbung n. Sudan IV.
Vergrößerung 25 : 1. Beschreibung s. Text.

2) Sudan III: Mit dieser Färbung können Neutralfette färberisch noch besser herausgestellt werden. Sie werden tiefrot (14).

In unseren Präparaten (Abb.5) waren im Prinzip keine großen Unterschiede, histochemisch gesehen, zu Sudan IV. Ausgesprochene Fettstraßen sieht man besonders in der Umgebung der Drüsen, Hornschicht und Keimschicht, zum Teil blasig abgehoben, färben sich gelb bis orange, das Bindegewebe schwach blau bis lila.

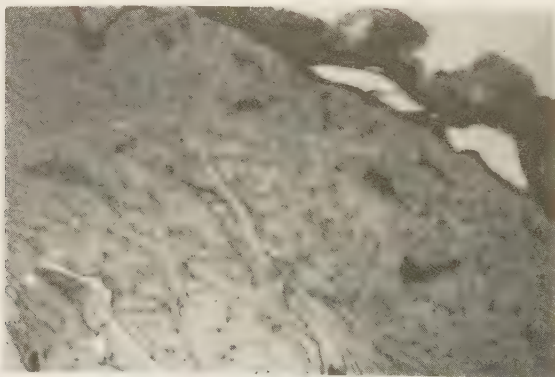


Abb. 5:

Gefrierhautschnitt, Färbung nach Sudan III.

Vergrößerung 25 : 1, Beschreibung s. Text.

3) Nilblau: Hierbei färben sich neutrale Fette rosa, sogenannte saure Lipide, wie Fettsäuren, Chromolipide und Phospholipide werden blau. Die histochemische Bedeutung dieser Färbung ist beschränkt, da in festem Zustand sich befindliche Fettsäuren nicht anfärbbar sind (14,28). Bei unseren Präparaten war die ganze Schnittfläche hellblau und mit dunkelblauen Faserzügen durchsetzt. Eine auch hier auftretende feintropfige Fettverteilung dürfte als sekundär entstanden aufzufassen sein. An wenigen Stellen der aufgeplatzten Hornschicht sieht man ihr aufgelagert

eine zart rötlich angefärbte Substanz. Dies könnte ein Hinweis auf das Vorhandensein von neutralem Fett sein. Insgesamt sind saure Lipide, besonders im Corium, vorhanden.

4) Osmierung mit OsO_4 :

Dieser Stoff vermag außer, daß er von allen bekannten Fixierungsmitteln die Zellstruktur am ähnlichsten erhält, die Fette und Lipide weitgehend zu stabilisieren. Die natürlichen Farben der verschiedenen Gewebe werden durch Reduktionsstufen von OsO_4 in verschiedenem Grade verändert. Die Kerne werden schmutzig gelb, Protoplasma, Muskelfasern, elastische Fasern werden graubraun. Fette und Fettsubstanzen färben sich nach ihrer Beschaffenheit gelbbraun bis schwarz.

Osmophilie stellt keine spezifische Eiweiß- oder Lipoidreaktion dar, sondern zeigt lediglich die Gegenwart ungesättigter Molekülbausteine, z.B. Oelsäure und aromatische Aminosäuren (28).

Die Verwendung von OsO_4 beruht auf der Beobachtung, daß sich ein Teil der Lipide eines Gewebestückchens durch Reduktion des auf sie einwirkenden OsO_4 zu Osmiumoxyd schwärzt. Dieser Vorgang wird auf ungesättigte Fettsäuren, die nur eine Doppelbindung ($-\text{C}=\text{C}-$) enthalten, zurückgeführt. Ein anderer Teil der Lipide wird unter Einwirkung von OsO_4 nur gebräunt. Die stärkste primäre Schwärzung erfolgt im allgemeinen bei Oelsäure und Oleingemischen. Man kann jedoch nicht die Komponenten von Lipidgemischen befriedigend unterscheiden (28).

Die Schnitte, welche mit Osmiumtetroxyd behandelt worden waren (Abb. 6), zeigen eine gelb bis bräunliche Darstellung der Lederhaut, durchzogen mit streifigen, braun bis schwarzen

Fasern. Vereinzelt heben sich darin knäuelartige, tief-schwarze Gebilde ab. Hornschicht und Keimschicht färben sich besonders im Bereich der Strommarken tief schwarz an. Schwarze, strassenartige Züge formieren sich besonders im tiefen Corium und bilden dort auffallende Zellverbände. Auch über der Hornschicht, gleichsam breit auf ihr aufgelagert, sind schwarze Substanzen erkennbar. Sie sind so dicht aufgelagert, daß sie die wellenförmigen Bewegungen der Oberhaut mit ausführen und die Wellentäler gänzlich ausfüllen. Die osmierten Präparate zeigen ein gehäuftes Auftreten von Fetten auf der Hautoberfläche, um die Drüsen und Haarölgänge, diese zum Teil auch ausfüllend und beeindrucken auch in den tieferen Schichten durch massive Fettansammlungen.

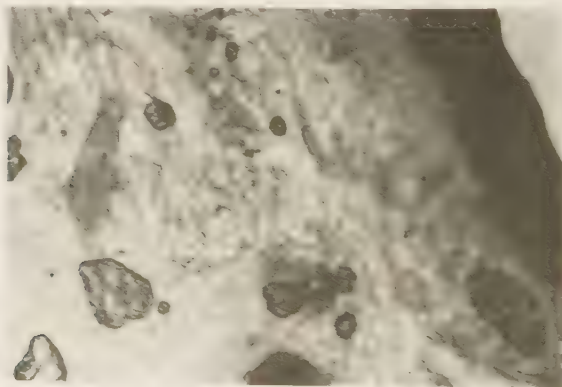


Abb. 6: Darstellung eines Gefrierhautschnittes nach Behandlung mit OsO_4 .
Vergrößerung 25 : 1. Besondere s. Text.

III. Metachrylatschnitte:

Metachrylatschnitte der von den Elektroden mit der Pinzette entfernten Teilchen wurden nach Giemsa gefärbt und boten folgenden Befund:

1) Zu erkennen war eine blau gefärbte, wabige Hornschicht. Die Keimschicht ist an wenigen Stellen mit Blasen durchsetzt und färbt sich ebenfalls blau an. Sehr deutlich ist die Palisadenstellung der Zellkerne zu sehen und im unteren Teil der Oberhaut eine starke Metallisation.

2) PAS-Reaktion: Die gelb-orangefarbene Hornschicht verläuft zum Teil wellenförmig. Die Keimschicht ist zart rosa mit blauen Kernen. Sie macht die wellenförmigen Bewegungen der Hornschicht mit und hier sind auch ihre Zellkerne palisadenförmig aufgereiht. An anderen Stellen verlaufen die spindelförmig ausgezogenen Zellkerne parallel zur Oberfläche bis sie zu regelrechten Streifen zusammenfließen. Die PAS-reaktiven Stellen der Keimschicht sind vereinzelt, meist rund geformt und zellartig. Der subepidermale Grenzstreifen ist klar abgesetzt und manchmal gehen von ihm runde und langgezogene, deutlich purpur gefärbte Züge in die Tiefe. Zugleich sind viele Metallisationen punktförmig vorhanden. Die Struktur des oberen Coriumteils hat sich fast völlig aufgelöst, ist braun-orange gefärbt und mit blasigen, unregelmäßigen Aufhellungen durchsetzt. Man kann hier deutlich erkennen, daß es sich bei diesen, von der Elektrode abgelösten Teilchen um Teile der menschlichen Haut handelt.

Zugleich erbringt die PAS-Reaktion, wie auch bei den Paraffinschnitten gezeigt werden konnte, daß sich in diesen geschädigten Bezirken Kohlenhydrate und Mucopolysaccharide befinden.

3) Die Metachrylatschnitte der Teilchen, welche fest an den Elektroden angehaftet hatten wurden nach Giemsa gefärbt. Hierbei war das mikroskopische Bild sehr bunt und vielfältig:

Auffallend sind lila bis tief dunkelblau gefärbte Reste der kollagenen Fasern. Sie erscheinen gequollen, verbreitert, gewunden, sehen manchmal wie geplatzt aus und legen sich nach allen Richtungen.

Dazwischen sind hellblaue, unregelmäßige Flächen, fast homogen wirkend, mit Metallisationen. Neben diesen punktförmigen Metallisationen sind auch größere, fleckförmige mit gezackten Rändern sichtbar.

Man sieht blau angefärbte Epithelien, an anderer Stelle kugelige, mehr rötliche Gebilde, die sich zu größeren, netzartigen Verbänden ausweiten können.

Die Farben wechseln von zart rosa über lila zu blau und dunkelblau. Zwischen den Waben sind Zellbestandteile und auch zum Teil mehrere Zellen der Keimschicht erkennbar.

An einer umschriebenen Stelle sieht man längere, blaue Züge der Hornschicht mit vereinzelt anhängenden Teilen der Keimschicht, diese ist jedoch tiefer blau gefärbt.

IV. Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung:

Organische Lösungsmittel wie Chloroform, Tetrachlorkohlenstoff und Äther zeigten wenig Erfolg bei der Bemühung, den auf den Elektroden haftenden Belag, vermutlich ein Gemisch aus Schmelzprodukten der Haut und Oxyden des Kupfers, entstanden durch Elektrolyse, zu entfernen. Am sichersten läßt sich eine Reinigung durch Einlegen der Elektroden in Natronlauge und anschließend in Salzsäure erreichen.

Von allen organischen Lösungsmitteln zeigte Tetrahydrofuran das beste Ergebnis.

Die mit Tetrahydrofuran unbehandelten, rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen (Abb. 7) zeigten an den Elektroden eine tropfenförmige, ungleichmäßige Verteilung einer dunklen Masse über die ganze Elektrodenfläche. Vereinzelt sieht man haftende Epidermisreste und zahlreiche Metallisationen.



Abb. 7 :
Wechselstromelektrode
ohne Behandlung mit
Tetrahydrofuran.
Vergrößerung : 100 : 1
Rasterelektronen-
mikroskopisches Bild.

Die mit Tetrahydrofuran gewaschenen und wie oben vorbehandelten Elektroden zeigten im Rasterelektronenmikroskop ein anderes Bild (Abb.8,9,10).

Zum Teil ist noch die Metallunterfläche mit ihren Schmirgelspuren erkennbar. Über die ganze Fläche verteilt sind anhaftende Coriumteile, welche ein spongiöses, schwammartiges Aussehen zeigen, das vor allem durch die unregelmäßige, wie Gitterfasern wirkende Verteilung auffällt.

An diesen subepidermalen Strukturen haften rundliche Metallteile. An den Haaren sieht man ihnen aufliegende, unregelmäßige Beläge.

An anderen Stellen fallen blumenkohlartige Gebilde auf, mit vielen großen und kleinen Kratern, welche Funken einsprengungen in die Epidermis darstellen und nach FOHN (9,11,12) ein Charakteristikum für Metallisationen sind.

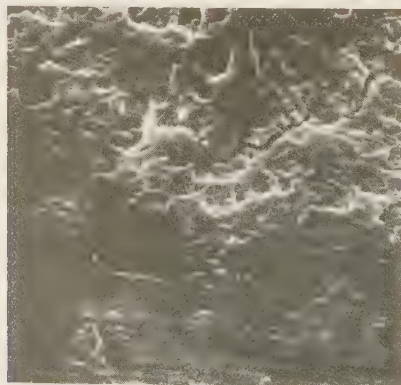


Abb. 8 :

Wechselstromelektrode nach Behandlung
mit Tetrahydrofuran. Vergrößerung: 1000:1
Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme.

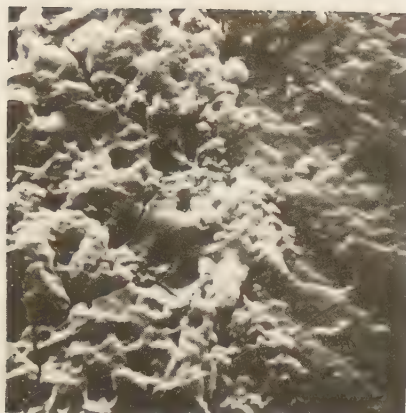


Abb. 9:
Wechselstromelektrode im
rasterelektronenmikroskopischen
Bild.

Vergrößerung: 5 500 : 1.

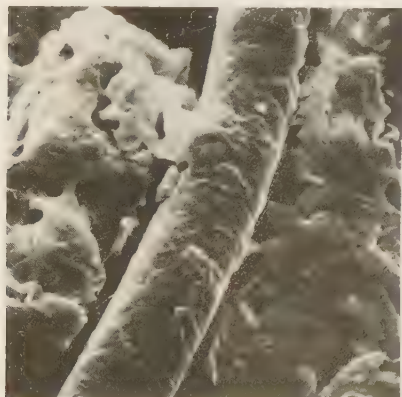


Abb. 10 :
Wechselstromelektrode.
Rasterelektronenmikroskopisches
Bild eines Haares.

Vergrößerung : 500 : 1

Das Bild einer Wechselstromelektrode unterscheidet sich von einer mit Gleichstrom als Plus-Pol benützten Elektrode in der Hauptsache durch ein markigeres Aussehen (Abb.11), während sich die Gleichstromelektrode mehr verwaschen darstellt.

Auch bei Gleichstromelektroden sind zahlreiche Krater bzw. Funkeneinschläge zu sehen, sowie Epidermisreste und kugelige Metallisationen.



Abb. 11:
Gleichstromelektrode (Plus Pol).
Rasterelektronenmikroskopische
Aufnahme.
Vergrößerung: 2 000 : 1

D: Zusammenfassung der Befunde.

Die HE-Färbung von Paraffinschnitten zeigte teilweise stärker purpurrot angefärbte Substanzen in der Keimschicht und im Bindegewebe. Auffallend war die besonders an den Mikrostrommarken anzutreffende tiefblaue Anfärbung durch die Mallory-Färbung, welche auf Konzentration von Schleim und damit auf Mucopolysaccharide an dieser Stelle hin- deutet. Das gleiche Ergebnis erbrachte die Azanfärbung, wobei hier auch Schleimstoffe über der Hornschicht liegen dürften, ebenso war bei Masson-Goldner eine schwache Anhäufung von Mucopolysacchariden im Bereich der Strommarken sichtbar. Die versuchte Abgrenzung durch saure MPS war nicht möglich. Bei der PAS-Reaktion konnte sichtbar gemacht werden, daß Lipide, wie sie Cerebroside und Phosphatide darstellen, und Glykoproteide und Kohlenhydrate sich in der Keimschicht sowie im Bindegewebe an einzelnen Stellen, um die Drüsen und Haarbälge stärker ansammeln.

Bei den Gefrierschnitten konnte gezeigt werden, mit Sudan III und Sudan IV, daß sich im Bindegewebe und in der Epi- dermis sogenannte Fettstraßen deutlich abheben.

Es war aber nicht möglich Neutralfette von Lipoden histo- chemisch scharf abzugrenzen.

Zugleich konnte eine starke, sekundäre und artefiziell ent- standene Fettropfenbildung beobachtet werden. Ebenso war durch die Nilblaufärbung zwar das Vorhandensein neutraler Fette aufgezeigt, aber keine genaue Unterscheidung möglich gemacht worden.

Bei der Anwendung des Osmiumtetroxyds konnte die Ansamm- lung von Fettsäuren in Hornschicht, Keimschicht und im Bindegewebe gezeigt werden.

Bei den Metachrylatschnitten, welche Teile beinhalteten,

die auf den Elektroden fest angehaftet hatten und die nach Giemsa und PAS gefärbt worden waren, konnten Hautbestandteile nachgewiesen werden.

Es waren außerdem Oxydationsprodukte des Kupfers, zum Teil vermischt mit Hautschmelzprodukten, sowie kleinere und größer geformte Metallisationen mikroskopisch wahrzunehmen.

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung erbrachte, auch nach Anwendung organischer Lösungsmittel, wie Tetrahydrofuran, daß Teile der Epidermis an den Elektroden fest haften geblieben waren. Zugleich konnte durch vergleichende Untersuchungen bei elektrischen Verletzungen mit Gleichstrom (Plus Pol) und Wechselstrom festgestellt werden, daß die Gleichstromelektroden zwar keine sehr großen Unterscheidungsmerkmale aufweisen, jedoch ebenso Metallisationen, Funkeneinschläge und Epidermisreste zeigen.

E: Literaturübersicht.

I. Physiologisches Fettvorkommen in der Haut:

Das menschliche Unterhautfettgewebe ist das wichtigste Fettdepot des Körpers.

Es hat einmal die Funktion ein reibungsloses Gleiten der Haut gegenüber der Unterlage zu erleichtern und dann bildet es auch eine wichtige Isolationsschicht bei der Wärmeregulation (21).

Das Hautfett hat einen sehr niederen Schmelzpunkt, z.B. am Fuß $0-10^{\circ}\text{C.}$ (20), ist demzufolge bei Körpertemperatur fast flüssig und setzt sich zusammen aus mit höheren Alkoholen zu Wachsen veresterten Fettsäuren, Sterinen, welche teileise

als Steride mit Fettsäuren verestert sind, sowie aus zahlreichen, ungesättigten Fettsäuren und einer geringen Anzahl von Neutralfett (21).

Im lockeren Bindegewebe der Unterhaut liegen die Fettzellen einzeln oder in Gruppen beisammen.

Die ausgereifte Fettzelle wird von einer dünnen Schale aus Protoplasma mit darin liegendem, abgeplattetem Zellkern umhüllt. Die eigentliche Fettzellmembran bilden Gitterfasern, welche wiederum untereinander verbunden sind und dadurch zur Läppchenstruktur des Fettgewebes beitragen (33).

Neutralfett rindet sich in den Talg- bzw. Haarbalgdrüsen, die in der Lederhaut liegen und entweder auf die freie Hautoberfläche der cutanen Schleimhäute oder in die Haar Kanäle münden.

Es sind holokrine Drüsen, säckchenartig und ganz mit Epithelzellen gefüllt, welche sich durch Ansammlung von Fett in Talgdrüsen umwandeln. Talg entsteht durch Zerfall der verfetteten Zelleiber.

Die Schweißdrüsen der Haut geben ein Sekret ab, das neben den Hautbestandteilen Wasser und NaCl, Spuren von Harnstoff, Cholesterin, Kreatinin und Fettsäuren enthält (27). Das Stratum lucidum, welches in frischem Zustand glänzt, enthält Keratohyalinkörper in den Epithelzellen, welche zerfließen und so das Elaidin entstehen lassen. Dies ist ein festes Fett, das oxypnil ist und die ganze Schicht so durchtränkt, daß sie mit ihren Zellen homogen und durchsichtig erscheint (33, 15).

Durch organische Lösungsmittel werden die Fette aus den Zellen herausgelöst und zeigen am Schnitt Siegelringform. Chemisch ist Fett in allen Säften und Zellen nachweisbar, wo es entweder in gelöster Form oder als feine Emulsion vorhanden ist (17). Der optische Nachweis ist schwierig (17).

II. Die Haut bei Stromfluß:

Bei Stromfluß können Hornschicht, Epidermis und Bindegewebe beteiligt sein und die für eine Strommarke typischen Veränderungen aufweisen.

Eine Strommarke ist eine durch Joule'sche Wärme entstandene Nekrose. Ihr Aussehen und Zustandekommen ist abhängig vom Zustand der Haut (Stärke und Feuchtigkeit), Größe der Elektrodenfläche, Entfernung der Elektrode zur Haut und von der Dauer des Stromflusses (18).

Da die Haut ein schlechter Wärmeleiter ist, also großen Widerstand bietet, entsteht durch Umsetzen der Energie des Hautwiderstandes Wärme (16). Die Zerstörung der Haut kann auf einen elektrischen Wärmedurchschlag zurückgeführt werden. Die entstehende Hitze setzt am Gewebe auffälligste Veränderungen, da Eiweiß ausfällt, die Flüssigkeit im Gewebe verdampft und das Gewebe schließlich verkohlt (29,30).

Die Wärme bei Stromfluß durch die Haut ist proportional dem Widerstand und der Zeit. Der Widerstand ist abhängig vom Widerstand an der Strom Eintritts- und Austrittsstelle, sowie vom Widerstand im Körperinneren. Der jeweils größte Widerstand bestimmt die fließende Stromstärke (32).

Intravital läßt eine Hitzeentwicklung über 60° C. ein eiweißreiches Exsudat aus den Papillarkörpern der Haut austreten und zwischen die Zellagen dringen. Dadurch wird die Hornschicht mit zum Teil anhängenden Epidermistellen von ihrer Unterlage abgehoben (29,30).

In dieser einfächerigen Blase ist eine oft wechselnde Zahl von Zellen und Epithelien, welche stark verändert sind und oft langgezogene Kerne aufweisen. Das eiweißreiche Exsudat kann gelatinösen Charakter haben. Pläsengrund und Exsudat können Fibrinfäden aufweisen (29,30,24).

Die Brandblasen können bei höherem Strom zerreißen und Flüssigkeit austreten lassen. Ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei postmortalen Blasen, auch hier kann Flüssigkeit austreten, oder aber ein Fettaustritt erfolgen (16). Es bildet sich dann ein grünlicher, talgartiger Belag, vermutlich aus fettsaurem Kupfer (16). Bei Fettleibigen kann durch die Hitzewirkung des elektrischen Stromes das Unterhautfettgewebe schmelzen und durch eine kleine Hautwunde austreten (23,24).

Das Unterhautfettgewebe zerfällt schon bei relativ niederen Temperaturen, wird flüssig und tritt aus den Fettzellen aus und durchtränkt das angrenzende Gewebe (23,24). Ob das Fett entlang der kollagenen Fasern an die Hautoberfläche gelangt, bedarf noch der weiteren Klärung.

Zu erwähnen wäre in diesem Zusammenhang noch das Problem bei Fettbefunden im Lungengewebe (23).

Bei Verbrennen eines Toten kann flüssiges Fett unter Druck von Gewebewasserdampf in die Venen hineingedrückt werden, möglicherweise bis in die Lungen gelangen und zu einer scheinbaren Fettembolie führen (23).

REIMANN und DAVID (25) beobachteten nach der umschriebenen Verbrennung einer Lunge mit Fettembolie eine zonenweise Veränderung des intravasalen Fettes, mit Umwandlung des Fettes in feine Emulsion und Verstärkung der Fettembolie.

Wurde Hautfett auf einer normalen Lunge verbrannt, so zeigte sich im subpleuralen Verbrennungsbereich Ausfüllung der Alveolen mit Fett und tropfige sowie längliche Fetteinlagerung in den Blutgefäßen. Das erhitze Fett wurde durch die Pleura bis in die größeren subpleuralen Lungengefäße hineingepreßt (25).

FREIBERGER (16) stellte bei Versuchen an Leichenhaut

nach Abnehmen der Elektroden auf der Durchbruchstelle der Haut mindestens ein grünlich-schwarzes Pünktchen fest, welches sowohl auf der Haut wie auch auf der Elektrode abgebildet war und zu welchem er die Vermutung äußerte, es könne sich um fettsaures Kupfer handeln. Die Zahl der nadelstichartigen Punkte war abhängig von Dauer und Größe der Durchströmung. PLOCH (23) fand ebenfalls feine, schwärzliche Sprengelungen bei Kupferelektroden.

Ist die Hornschicht dicker, kann die Verteilung der Durchtrittsstellen nicht so gleichmäßig erfolgen, wie am Beispiel eines Handabdruckes gezeigt wurde (16). Die Stellen an denen der Widerstand am schwächsten ist, werden bevorzugt abgebildet. FREIBERGER erklärt den deutlichen Handabdruck durch Fettaustritt und die Verbindung des Fettes mit Kupferoxyden (16).

Es ist aber auch möglich, daß die Haut ganz trocken bleibt, die Durchschlagstellen breiter werden und zu einem schwarzen, trockenen Fleck zusammenfließen. Dieser Belag kann oberflächlich abgewischt werden. Eine vollständige Entfernung konnte jedoch nicht durchgeführt werden, was die Frage aufwarf, ob es sich um Oxydationsprodukte des Kupfers oder um angesengte Hautteile handele (16).

III. Korrosion und elektrothermische Schmelzung:

Bei Stromfluß erfolgt je nach Zeit und Temperatur eine Hitzeschädigung des Gewebes, wobei sich elektrothermische Schmelzprodukte an der Elektrode und an der Elektrodenauflagefläche ablagern können, welche von den Korrosionsprodukten des Metalls sehr schwer zu unterscheiden sind. BOSCH (13) fand bei Versuchen mit verschiedenen Strom-

stärken und Einwirkungszeiten entsprechende Veränderungen an der Hautoberfläche. Es waren dies deutliche Verbrennungen mit Bildung von Hornschmelzperlen bis zu kleinsten, schwarzen Läsionen, sowie Austrocknungerscheinungen. Zugleich zeigten sich grünliche Hautverfärbungen auf der Kontaktstelle und auch außerhalb davon. Im Dunkelfeldauflicht konnten neben verkohltem Keratin folienartige Kupferschichten nachgewiesen werden (13). Im Hellfelddurchlicht mit Zusatz von Dunkelfeldlicht waren die Kohlepartikelchen und die metallischen Kupferniederschläge gleichmäßig schwarz, an derselben Stelle und somit schwer zu trennen (13).

Die stromführende Kupferlitze hatte auf der Haut einen Negativabdruck hinterlassen. Dies konnte auch BÖHM (7) im Experiment nachweisen.

Der Negativabdruck imponierte als unruhiges Mosaik von Interferenzfarben (13) mit Überwiegen des Kupfertones. An der Kupferlitze konnten zum Teil Schmelzperlen der Hornschicht nachgewiesen werden. Die Kupferlitze bietet eine größere und griffigere Angriffsfläche und die Epithelien sind stark klebrig. Andererseits können auch Teile der Metallschicht auf die Haut übertragen werden. Zur Differenzierung der rein thermischen Schädigung fehlen bei dieser makroskopisch sichtbares, metallisches Kupfer und die Grünverfärbung (13).

BÖHM (8) fand bei der Untersuchung eines Messinglampenschafes in einem Selbstmordfall zahlreiche zusammenfließende, umschriebene Korrosionsstellen mit farbigen Oxydationsprodukten des Messings.

Sehr korrosionsbeständige Metallegierungen wie vernickeltes Messing können durch die Wirkung des elektrischen Stromes zu einer gesamten Zerstörung der Nickelschicht

führen und die Legierungsbestandteile wie Kupfer und Zink durch elektrische Einwirkung auf die Haut übertragen (3). Die Metalloberfläche sieht durch die Korrosionskrater wie geätzt aus (8).

Mit großer Wahrscheinlichkeit handelt es sich bei den Korrosionsprodukten um Hydroxyde, Chloride, I- und II-wertige Oxyde des Kupfers. Die schwarzen Kupfer II-Oxyde können leicht zu Verwechslungen mit Schmelzprodukten der Haut führen. Ihre Differenzierung ist deshalb auch sehr schwierig, zumal beide Produkte sich an derselben Stelle abscheiden (8). Für die Entstehung dieser Produkte können elektrolytische Prozesse, auch bei Wechselstrom, in Frage kommen, sowie Mikrofunkens zwischen Epidermis und Elektrode, aber auch beides zusammen in Abhängigkeit von Metall, Kontaktbedingung, Haut, Spannung und Stromstärke. Zugleich kommt es durch die erhitzte Elektrode zu einer Kontaktmetallisierung mit gleicher Verteilung über die Elektrodenfläche und die Haut. Dies hat aber nur diagnostische Bedeutung als Fehlerquelle bei Spektralanalyse (3,8).

IV. Funkenbrand:

Zum Lichtbogeneffekt bzw. Funkenbrand zwischen Elektrode und Haut kommt es dann, wenn sich durch die Wärmewirkung des elektrischen Stromes Blasen bilden, dies geschieht vornehmlich an den Rändern und Ecken der Elektroden, da hier eine vermehrte Elektrodenansammlung auftritt.

Die Blasenbildung führt in der Dampfphase, wenn Gewebewasser verdunstet, zu einer Austrocknung der Haut und damit zu einer Stromunterbrechung, da durch Selbstisolation der Elektrode der Widerstand gestiegen ist.

Nach dem Kondensatorprinzip kommt es dann zu einem Funkenüberschlag.

Funkenerosionen gibt es auch in die angrenzenden Teile der von den Elektroden unbedeckten Haut. Der Strom sucht sich den Weg des geringsten Widerstandes und hier herrschen atmosphärische Bedingungen im Gegensatz zur abgeschlossenen Kammer im Bereich der Elektrodenauflagefläche (3).

Wunden, die durch Lichtbogen entstanden sind, zeigen ein braunschwarzes Aussehen. Bei Leichen sieht man Verkohlungen (16). Durch die Entwicklung hoher Temperaturen sind die Zerstörungen stärker als bei einer Verbrennung durch einen guten Kontakt. Zum Lichtbogeneffekt kommt es auch bei hoher Spannung und kleinem Berührungsdruk, bei langer Stromeinwirkung und schlechtem Kontakt, oder nach kürzerer Stromeinwirkung und kleineren Elektroden (3). Ebenso kann es zum Lichtbogeneffekt kommen, wenn ein anfänglich guter Kontakt durch Ausbrennen einer Wunde lose wird (16).

Die Funkenerosionen hinterlassen typisch gestaltete Veränderungen auf der Hautoberfläche in Form umschriebener, kraterartiger bis kanaliculärer, manchmal auch schmelzflussartiger Einsenkungen.

Es kann zu einer Bindegewebsdemarkierung im Corium kommen. Die Funken durchschlagen die Oberfläche der Blase und die Blasenwand. Sie hinterlassen hier wie im Blaseninnenraum ein charakteristisches Muster von Funkenspuren, die im einzelnen so aussehen: spongiöse Formationen mit Defektstellen und schüsselförmigen Aufwulstungen, kanalförmige Defekte und feinporige Veränderungen der Umgebung und eine wie geätzt aussehende Oberflächenstruktur. An den Naaren finden sich Schmelzungserscheinungen. Die Blasenwand bietet ebenfalls ein typisches Muster an Morphologie und Element-

verteilung: Perforationen mit Schmelzeffekten, am Rande ringförmige Randmetallisation, sowie die typische Struktur einer Metallisationszone, wie BORN (3) durch rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen nachweisen konnte.

Ein wichtiger Bestandteil der Funkenerosion bildet der immer mit ihr einhergehende Metalltransport von der Elektrode zur Haut. Man konnte die Metalle als feinste Schmelzkügelchen erfassen, die sich über den gesamten Bereich der Kontaktfläche hin ausbreiten (3).

Die Metallisation erfolgt in der Dampfphase durch Gasentladungsprozesse. Sie ist mittels Rasterelektronenmikroskop von einer Kontaktmetallisation unterscheidbar und kann somit die Elektrogenese einer Verletzung unterstreichen (3). Die Metallisationen zeigen zentrale Perforationen, randständige Unterminierungen und Einsenkungen innerhalb der Korrosionsschicht. Daneben hat jedes Element sein typisches Verteilungsmuster, welches wesentlich zu einer Differenzierung beitragen kann (3).

V. Bedeutung der Unterscheidung zwischen Gleich- und Wechselstrom:

Da der Wechselstrom ein Gebrauchsstrom ist und im täglichen Leben häufiger vorkommt, ist die Kenntnis der Veränderungen, die er und der Gleichstrom auf der menschlichen Haut hervorrufen können, sehr wichtig zur Differenzierung von Gleich- und Wechselstrommarken.

Die Wechselstrommarken sind untereinander gleich aber von den Gleichstrommarken deutlich verschieden.

Bei Wechselstromverletzungen kommt es, wie schon erwähnt zu Befunden ähnlich derer von thermischen Verletzungen.

Die Begrenzung der Nekrose ist bei der Wechselstrommarke nicht so scharf abgegrenzt, es bilden sich astartige Verzweigungen nach der Seite und Tiefe hin. Daneben kommt es zu fachwerkartigen Lückenbildungen zwischen Oberfläche und Nekrose (22).

Die Wechselstrommarken zeigen einen größeren, braunrötlichen Hof und einen geringeren Metallisationsaum wie die Gleichstrommarken (5).

BÖHM (3) erklärt das Zustandekommen der Metallisation bei Wechselstrom so: In der positiven Anstiegsphase des Stromes wird Metall an umschriebener Stelle ionisiert. Überhitzung, Gasbildung und Oxydation führen bei Veränderung der Wasserstoffionenkonzentration und einer Übersättigung der Lösungsphase zu einer Bindung des Metalls bzw. zu einem Übergang in eine elektrisch neutrale Zustandsform. In der negativen Stromflußphase kann keine ausreichende Entladung an der nunmehr zur Kathode gewordenen Elektrode mehr erfolgen, so daß es bei der Metallanhäufung bleibt.

Bei Gleichstrom kann man eine große Differenz in der Oberflächenveränderung bei Anode und Kathode beobachten.

Die Veränderungen an der Kathode entsprechen denen einer Laugenverätzung und somit einer kolloquationsnekrose.

Kaustische Alkalien verändern Haut und Schleimhaut in kurzer Zeit derart, daß sie erweicht, gequollen und stärker transparent erscheint und schließlich braun wird. Es kommt zur Einschmelzung und zur Verflüssigung des Gewebes (2).

An der Kathode kommt es zur Alkalisierung, wenn Gewebestandteile hängen bleiben. Es findet eine alkalische Hydrolyse statt und damit eine Präzipitation des Gewebe-eiweißes. Hautoberfläche und Cuticula werden aufgelöst. Sie erstarren zu einer porzellanartigen Masse, die ihnen ein fadenförmiges Aussehen verleiht.

Oft ist aber die Oberfläche auch von Gasblasen durchsetzt. Es sind schaumige Massen hydrolysierten Gewebes nachweisbar. Es findet eine Elektrolyse statt, wobei an der Kathode H_2 , an der Anode O_2 und Cl entstehen (3).

Mikroskopisch ist an der Kathode der subepidermale Grenzstreifen durchbrochen. Man sieht bläschenförmige Zellveränderungen, spindelige Zellkerne, die oft extrem ausgezogen sind (22).

BÖHM (3) konnte an der Kathode keine Metallisationen feststellen, was als ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal zur Anode angesehen werden kann. Ein weiteres Differenzierungsmerkmal dürften die größeren Perforationen darstellen. Die Anode ist differentialdiagnostisch von einer Säureverätzung mit ihrer Koagulationsnekrose abzugrenzen. Die Koagulationsnekrose beinhaltet ein Absterben von Gewebeteilen unter Gerinnung des Eiweißes und der Zellflüssigkeit bzw. den Übergang des Eiweißes vom Sol in den Gel Zustand. Konzentrierte Mineralsäuren wirken koagulierend. Eine Vergiftung mit HNO_3 bewirkt z.B. eine hellgelbe Verfärbung der Schleimhäute, eine Vergiftung mit HCl oder H_2SO_4 führt zur Bildung von grauweißen bis braunschwarzen Belägen. Das Gewebe sieht wie gekocht aus. Dieser Ätzschorf ist deshalb so gefährlich, weil er verschieden tief in die Gewebewand eindringen und zu Perforationen bzw. zu einer Peritonitis führen kann (2).

Um die Koagulationsnekrose an der Anode gegen eine solche durch Säureverätzung abzugrenzen, muß festgestellt werden, daß die Differenzierung hier insofern leichter ist, da es zu ausgesprochenen Metallisationen mit elektrolytischem Transport des Metalls in die Gewebstiefe kommt. Die Metallabscheidung ist flächenhaft und sehr dicht (5). Zu beachten wären noch nichtelektrogene Verschmutzungen, bzw. Diffusionen

von Schwermetallionen (3).

Die Koagulationsnekrose der Anode, erkennbar an der Verbreiterung der kollagenen Fasern, zeigt im mikroskopischen Bild einen klar abgegrenzten, nicht unterbrochenen, subepidermalen Grenzstreifen, eine extrem starke Ausziehung der Zellkerne ohne Wirbelbildung, Blasenbildung im Randgebiet und im Stratum basale (22).

Zu erwähnen wären noch die Funkenbildungen, neben der die ganze Kontaktfläche erfassenden Metallisation im Vergleich zur Kathode (3).

VI. Prinzipielle Untersuchungsmöglichkeiten an der Elektrode:

1) Auflicht:

Die herkömmliche Methode bei histologischen Untersuchungen stützt sich auf das Durchlichtverfahren.

In der Forensischen Medizin hat auch die Untersuchung von Objektoberflächen, wie sie Elektroden darstellen, erhebliche Bedeutung. Die Unzulänglichkeiten der konventionellen Auflichtmikroskopie haben deren Grenzen schon frühzeitig erkennen lassen (11).

Die Nachteile der Oberflächenuntersuchung im auffallenden Licht sind ihre mangelnde Tiefenschärfe, Transparenzeffekte, sowie Überstrahlungseffekte. Diese Artefakte können zu Fehlbeurteilungen führen, da eine exakte Diagnose in der Rechtsmedizin nicht unerheblich ist.

2) Rasterelektronenmikroskop:

Das Rasterelektronenmikroskop bringt bei der Untersuchung von Elektrodenoberflächen große Vorteile gegenüber der Auflichtmikroskopie, eine Vergrößerung von 50 000 : 1,

eine 1 000 fache Tiefenschärfe, sowie ein Auflösungsvermögen von 150 - 250 Å (11).

Es bietet daher die Möglichkeit, Objekte mit starker Oberflächengliederung, wie sie Zerklüftungen und Höhlenbildungen der Haut bei elektrischen Verletzungen darstellen, zu untersuchen.

Funktionsprinzip:

An Stelle von Lichtstrahlen geht ein von einer Kathode durch elektromagnetische Linsen gebündelter Elektronenstrahl rasterförmig über die Probenoberfläche und tastet sie ab. Die aus der Probe austretenden, sekundären Elektronen gelangen mittels Beschleunigung durch einen Elektronenempfänger auf einen Szintillationskristall, der sie in Lichtblitze verwandelt. Das sichtbare Bild entspricht Punkt für Punkt den von der Probenfläche ausgehenden Elektronen (12).

Das Rasterelektronenmikroskop ist für die Haut besonders gut geeignet, da feinste Veränderungen am Oberflächenrelief von Haut, Haar und den von der Haut auf der Elektrode hängengebliebenen Teilchen, sowie die Oberflächengeometrie der abgeschiedenen Metallisationen erfasst und erkennbar gemacht werden können. Obwohl Morphologie und Verteilungsmuster der Metallisationen auch im Auflicht darstellbar sind, kann es nur etwas über die Wahrscheinlichkeit einer elektrischen Verletzung aussagen. Dagegen kann das Rasterelektronenmikroskop eine genaue Aufschlüsselung der einzelnen abgeschiedenen Metalle, unter anderem durch Farbe und typische Struktur, ermöglichen und damit zur wesentlichen Diagnosesicherung beitragen (11).

Artefaktquellen wie Verunreinigung der Objektoberfläche, elektrostatische Aufladungen, versehentlich auf die Probenoberfläche gelangtes Leitsilber oder Klebstoff können durch sorgfältige Vorbereitung vermieden werden (12).

VII. Diskussion der Ergebnisse:

Es sollte versucht werden, die Herkunft bzw. die Zusammensetzung einer Substanz, welche bei künstlich gesetzten elektrischen Verletzungen bei Gleich- und Wechselstrom beobachtet worden war, durch verschiedene Färbungen abzuklären. Da sich die Substanz, nach Entfernung der Elektroden von der Haut, als glänzende, durchsichtige, gallertige Masse erwies, lag die Vermutung nahe, es könne sich um Fett handeln, welches infolge des Stromflusses aus der Subcutis an die Oberfläche gelangt war.

Die Bindegewebsfärbungen wie Mallory, Azan und Masson-Goldner zeigten an den Strommarken eine Konzentration von Farbstoffen, welche mit Mucopolysacchariden reagieren. Eine Abgrenzung durch einen speziellen Nachweis von sauren Mucopolysacchariden war nicht möglich.

Ähnlich war die Reaktion auf PAS. Danach sind Lipide und Glykoproteide besonders in der Keimschicht und an einzelnen Stellen des Coriums anzutreffen, sowie in Drüsen-nahe. Bei Masson-Goldner und Azanfärbung war auch über der Hornschicht, jedoch nur ganz vereinzelt, ein Vorhandensein von Schleim sichtbar.

Die Gefrierschnitte, mit Färbungen nach Sudan III und IV, sowie Nilblau zeigten zwar das Vorhandensein von Fett in Epidermis und Corium, sowie auf der Hornschicht. Doch sind diese Färbungen für Artefaktbildungen sehr anfällig, noch dazu kann sekundär Fett entstehen, wenn beim Schneiden die Hautdrüsen ausgepresst werden können. Unsere Präparate waren zum größten Teil von sekundären Fettbildungen überlagert, sodaß diesen Färbungen keine allzu große Bedeutung beizumessen ist.

Einen besseren Erfolg brachte die Methode der Osmierung. Hierbei war massiv Fett auf der Hornschicht, in der Epi-

dermis und im Corium nachweisbar.

Da jedoch nicht alle Fettsäuren mit OsO_4 reagieren, wie ROMEIS (28) durch das negative Verhalten der Stearin- und Palmitinsäure aufzeigen konnte, andererseits auch Stoffe wie Vitamin C und Adrenalin mit OsO_4 Reaktionen geben, außerdem das Reaktionsprodukt wandern kann und eventuell an den Kernmembranen resorbiert wird, kommt der Osmierung nicht diese histochemische Bedeutung zu, wie ursprünglich anzunehmen gewesen wäre (28). Bei der fraglichen Substanz handelt es sich also wahrscheinlich um ein Mischprodukt aus Fettsäuren und Mucopolysacchariden.

Ein weiterer Hinweis darauf dürfte auch sein, daß die Substanz auf den Elektrodenflächen fest anhaftet, somit ein Hindernis bei der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung bildet und nur durch Säuren- und Laugenbehandlung sowie durch Tetrahydrofuran entfernbar ist.

Ob das Mischprodukt auch eine Verbindung mit den Korrosionsprodukten des Kupfers eingeht, konnte nicht geklärt werden.

Da in der Forensischen Medizin der Nachweis bei Stromunfall immer auch histologische Untersuchungen nötig macht, und die Artefaktbildung eine häufige Fehlerquelle darstellen kann, wollten wir mit der Methode der Metachrylateinbettung der Teilchen, die auf den Elektroden angehaftet hatten und anschließendem Schneiden mit dem Ultramikrotom einmal den Nachweis von Hautbestandteilen auf Elektroden erbringen, zugleich aber ein genaueres Verfahren erproben, als die bisher geläufigen, mikroskopischen Untersuchungsmöglichkeiten.

Durch die Schnittstärke von $3\ \mu$ und die damit verbesserte Schnittqualität sind die mikroskopischen Untersuchungsmöglichkeiten günstiger.

Es ist in der Forensischen Medizin oftmals schwierig, die Diagnose Unfall durch Stromeinfluss zu stellen, zumal wenn keine Strommarken sichtbar sind. Daher sollten metallische Leiter, welche mit der Haut in Kontakt gekommen sein könnten, auf anhaftende Epidermisteilchen und Korrosionsveränderungen untersucht werden (z.B. Bei Unfällen in der Küche). Der Nachweis kann mittels Abkratzen und Einbetten der gewonnen Teilchen in Metachrylat erfolgen.

Eine weitere Abklärung kann die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung erbringen, da sich hier gute Möglichkeiten anbieten, um Oberflächen von Hautteilen zu erkennen und auch der Nachweis einer elektrischen Metallisation erbracht werden kann. Außerdem ist es möglich, die verschiedenen Wirkungsweisen von Gleich- und Wechselstrom auf den Elektroden aufzuzeigen.

F: Zusammenfassung.

Es wurden 60 Gewebestücke aus experimentell, d.h. unter definierten Bedingungen, an Toten erzeugten Strommarken lichtmikroskopisch, nach Herstellung von Paraffin-, Gefrier- und Metachrylatschnitten unter Anwendung verschiedener Färbungen, untersucht. Ebenso wurde von Elektroden gewonnenes Material im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Die durch Stromfluß hervorgerufenen Veränderungen im Gewebe, wie auch Hautspuren an Elektroden, wurden beschrieben, ihre Entstehung und forensische Bedeutung wird dargestellt. Dabei wurde auch die Frage der artefiziellen Entstehung bzw. die Verwertbarkeit der Befunde auf dem Hintergrund der Mitteilungen im Schrifttum diskutiert. Die Vorzüge besonders dünner Hautschnitte werden dargestellt. Die Beobachtungen erbrachten als wesentlichstes Ergebnis, daß die auf Elektroden eventuell anhaftenden Hautspuren sowie Metallisationen und Korrosionsprodukte Hinweise auf ein Elektrotrauma geben können.

G: Literaturverzeichnis.

1. ALLGÖWER, M.: Verbrennungen: Pathophysiologie-Path.-Kliniktherapie, 1-2 (1957).
2. ASCHOFF, I.: Path. Anatomie, 36 (1909).
3. BÖHM, E.: Einige Befunde u. neuere Untersuchungen meth. z. Spez. v. Hautveränd. n. Einwirkg. v. el. Strom, Biomed. Technik, Bd. 17, 5 u. 6 (1972).
4. BÖHM, E.: Zur Frage d. Diff. Diagnose zw. therm. u. el. Verbrennungen, Dt. Zeitschrift. f. ger. Med., 63, 149-153 (1968).
5. BOHM, E.: Zur Rekonstrukt. el. Unfälle, Sonderdruck a. Leitz Mittlg. f. Wiss. u. Technik, 1, Bd. V, 13-19 (1969).
6. BÖHM, E.: Zur Frage d. Spezifität v. Epithel- ausziehungen i. Strat. germ. d. Haut, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med. 59, 22-25 (1967).
7. BÖHM, E.: Untersuchungen ü. d. oberfl. Metal- lisationen d. Haut, Dtsch. Zeitschrift f. ger. Med., 59, 26-34 (1967).
8. BÖHM, E.: Über den Selbstmord einer Frau d. el. Strom, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med., 65, 87-95 (1968).
9. BOHM, E.: Einige char. rasterelktr. mikr. Bfd. an menschl. Haut n. Hochspanng., Sonderdruck a. Arch. f. Krim. 17, 3. u. 4., (1971).
10. BOHM, E.: Untersuchung an exper. Stromverletzg. m. Elektronenstr., Zeitschrift. Rechts- med. J. Legal Med. 47, 293-308 (1972)
11. BOHM, E.: Die Anwendung d. Rasterelktr. mikro- skops in d. Rechtsmed., Beiträge z. Ger. Med., 28, (1971).
12. BÖHM, E.: Spez. Entn. Präp. u. Untersuchg. Technik f. Anwendg. d. Rasterelktr. mikr. in d. for. med., Med. Beitr. z. Ger. Med. 29, (1972).

13. BOSCH, K.: Makroskop.u.lupenmikroskop. Untersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit an Strommarken, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med., 56, 318-323 (1965).
14. BURCK, H.C.: Histologische Technik, G. Thieme Verlag., 104-137 (1969).
15. BURCKHARDT, W.: Atlas u. Praktikum d. Dermatologie u. Venerologie, Urban u. Schwarzenberg Verlag., 1-3 (1963).
16. FREIBERGER, H.: Der elektr. Widerstand d. menschl. Körpers geg. techn. Gleich- u. Wechselstrom, Springer Verlag., 25-93, (1934).
17. HAMPERL, H.: Lehrbuch d. Allg. Path. u. Path. Anatomie Springer Verlag., 125-132 (1960).
18. KLEIN, H.: Die gerichtsm. Diagnose d. Stromtodes, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med. 47, 29-54 (1958).
19. JELLINEK, ST.: Die äußere Form d. elektr. Strommarke, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med., 1, 596-600 (1922).
20. LEHNARTZ, E.: Chemische Physiologie, Springer Verlag., 32-39 (1959).
21. LEUTHARDT, F.: Lehrbuch d. Phys. Chemie, De Gruyter Verlag., 41-53, 347-362 (1957).
22. MAYER, H.: Vergl. hist. Untersuchg. an el. therm. u. mech. Verletzg. d. menschl. Haut, Inaugural Dissertat., 24-29 (1971).
23. PIOCH, W.: Hist. Chem. Untersuchg. z. Identität v. Strommarken, Dtsch. Zeitschrift. f. ges. ger. Med., 57, 165-169 (1966).
24. PONSOLD, A.: Lehrbuch d. Ger. Med., G. Thieme Verlag., 387-389 (1957).
25. PROKOP, O.: Der Tod d. Hitze, Verbrenng, hohe Temp. u. Kälte, Forens. Med., 137-145 (1966).
26. REIMANN, W.
DAVID, H.: Lungenfettembolie u. intravasales Fett n. lok. postmortalen Verbrenng. d. Lungen, Dtsch. Zeitschrift. f. ger. Med., 49, 382-387 (1960).

27. REIN, H.
SCHNEIDER, M.: Physiologie des Menschen, Springer Verlag, 565-567 (1956).
28. ROMETS, H.: Mikroskopische Technik, Guldembourg Verlag., 68-390, (1968).
29. SACHS, H.W.: Tod d.el.Energie, Lehrb.d.Ger. Med.v.A.PONSOLD, G.Thieme Verlag., 437-446 (1957).
30. SACHS, H.W.: Tod d.Verbrennung u.Verbrennung., Lehrbuch d.Ger.Med.v.A.PONSOLD, G.Thieme Verlag., 447-454 (1967).
31. SCHÄFFNER, M.: Untersuchungen ü.Histologie u. Metallisation n.el.Einwirkung auf die Haut, Dtsch.Zeitschrift.f.ger. Med., 52, 269-280 (1965).
32. SELLIER, K.: Stromtod, Lehrbuch d.Ger.Med.v. A.PONSOLD, G.Thieme Verlag., 390-394 (1957).
33. WALLRAFF, J.: Leitfaden d.Histologie d.Menschen, Urban u.Schwarzenberg Verlag., 100-102 (1958).

Ich danke Herrn Professor Dr.med.W. Spann, Herrn Priv.
Doz.Dr.med.R. Henn und Herrn Dr.med.E. Böhm für
die Überlassung des Themas und die allzeit hilfs-
bereite Unterstützung sowie die wertvollen Anregungen
bei der Durchführung der Arbeit.

L e b e n s l a u f

Am 27. Juni 1936 wurde ich als Tochter des Lehrers Eugen Oestreicher und seiner Ehefrau Anna, geb. Miller, in Augsburg geboren. Von 1942-1948 besuchte ich die Volksschule in Mertingen/Donauwörth und trat anschließend in das Deutsche Gymnasium der Dominikanerinnen in Wettenhausen ein, an welchem ich im Sommer 1957 das Abitur bestand. Im September 1957 begann ich mit dem Studium der Medizin und immatrikulierte mich an der Ludwigs-Maximilians-Universität in München. Das Physikum legte ich im Winter-Semester 1960/61 ab, das Staatsexamen im Jahre 1965.

